

山岳トンネルにおけるCIMの開発

畑 浩 二 杉 浦 伸 哉
(本社土木本部長室)

後 藤 直 美
(本社土木本部長室)

Development of CIM for Mountain Tunnel

Koji Hata Shinya Sugiura
Naomi Goto

Abstract

In recent years, productivity in the architecture field has been improved through the application of building information modeling (BIM). In civil engineering, there is an active movement to introduce CIM which has a mechanism similar to BIM. In order to exploit CIM as needed, understanding information and communications technology (ICT) is important. Thus, we surveyed the current status of ICT for use in mountain tunnel excavation. Subsequently, the items needed for mountain tunnel planning, design, construction, and maintenance were extracted. The CIM of mountain tunnels, needs to be properly integrated with ICT. Therefore, we developed a draft system based on a platform comprising Navisworks®, AutoCAD®, and Excel®. This draft system can be customized according to the field situation for use at a tunnel site. In addition, tablet devices can be used at the tunnel face to share information between the builder and purchaser and facilitate decision-making.

概 要

近年、土木分野ではBIMと同様な仕組みであるCIMを積極的に導入しようという流れがある。そのためには、要素技術であるICTを理解し、必要に応じて取り入れることが肝要である。山岳トンネルに特化したCIMを構築するに際し、ICTの現状を整理し、CIMへの展開技術としてまとめた。併せて、計画・設計～施工～維持管理の全領域での構成要素を抽出し、これら項目を適切に連関・統合化させるためNavisworks®, AutoCAD®およびExcel®を核にしたプロトタイプシステムを構築した。実現場での適用に際しては、この素案を現場に合わせカスタマイズしながら適用することになる。また、タブレット端末を現場切羽で活用することで発注者と施工者間での情報の共有化が図れ、意思決定の迅速化に繋がる。

1. はじめに

近年、建築分野で注目を集めている手法にBIM (Building Information Modeling)¹⁾がある。この手法は、建造物の3次元モデルに設計情報データを組み合わせることでPC上で仮想的に建物を建設しながら設計、施工、維持管理の生産性の向上を期待するものである。具体的には、部品や□体モデルに、施工時の時間データや材料の属性情報を加味しリアルタイムに構築イメージを再現するモデル化手法である。通常、CADでは形状情報のみを有しているのに対し、BIMでは形状情報に部品やパーツの材質や特性などのさまざまな属性情報を持たせたところに違いがある。言い換えれば、CADは図面の線を1本1本をデジタルに置き換えたにすぎないが、BIMは属性情報として部品やパーツの情報を有している。そのため、設計プロセスにおいて前者は修正変更が容易ではないが、後者では属性情報を変更する事で瞬時に図面に変更が反映される特徴を有している。

一方、土木分野では各種のICT (Information and Communication Technology)²⁾を駆使しながらの情報化施工は精力的に実施してきたが、BIMのような各工程段階でモデルを共有した生産システムは構築してこなかった。このような現状の中、国土交通省はBIMの考え方とシステム構成を取り入れ、CIM (Construction Information Modeling/Management)³⁾の構築と導入を推進することになった。

本報では、山岳トンネルにおけるICT技術の現状を踏まえ、CIMを導入することのメリットを示し、調査・設計から維持管理全域にわたるCIMの考え方を整理するとともに、プロトタイプシステムを構築し提示する。

2. 山岳トンネルのICTの現状

山岳トンネルが他のインフラ建造物と大きく異なる点は、掘削前方の地質状況がほとんどわからないことである。計画、設計の段階で踏査、ボーリングおよび物理探

査による調査を行い、路線全体の地質状況や岩盤性状の把握に努めているが、必ずしも正確な情報を事前に入手できているという保証が無い。その証拠に、予想とは異なる脆弱な地質や突発的な湧水に遭遇し、掘削進行が極端に低下したり、場合によっては地山崩落などの事故に遭遇することが過去何度もあった。そこで、施工中の観察や計測データに基づき、必要に応じて修正設計を行いながら、安全性とコストダウンを可能な限り満足させる高速掘削を目指している。

山岳トンネルの施工では、切羽観察と各種計測を核にして、空洞掘削による地山の変状や健全性変化を的確に予測評価し、最適な支保工規模や掘削速度ならびに必要なに応じて講じる補助工法を選定し掘削を進める。以下、情報化施工に利用されているICTを列挙し概説する。

2.1 切羽観察の合理化

掘削中の地山の状況を直感的に理解できるものが、切羽観察である。これは、日常の施工管理のために実施する。従来は、観察者が施工の合間に切羽状況のスケッチを行い、風化変質やき裂頻度などの特徴をメモしていたにすぎなかった。しかし、現在では、地山性状を点数化し評価する方法が一般的になった。著者らは、PC上で切羽観察による地山の定量評価、内空変位測定による最終

変形量予測、ゆるみ幅予測、2次元弾塑性FEMを簡便に実施できる支保選定システム⁴⁾を開発し適用してきた。切羽観察管理表の一例をFig. 1に示す。表中、左中央「掘削地点の地山の状態と挙動」で切羽が点数化され、この事例では24点として評価される。また、右表部では切羽写真を取り込み、その中に赤線で割れ目のスケッチ情報と「岩塊抜け落ち」などの注目事項を記入している。

2.2 各種計測の長寿命化

上述した切羽観察および空洞内変形量の計測はA計測と称す。一方、地山条件によって追加実施される計測はB計測と称され、特に支保部材や施工法の適性度合いを判定する場合に用いられる。主たる支保工であるロックボルトの軸力計測などが該当する。

これらの計測は、トンネル掘削直後から内空変位が収束し安定化するまでの短期間での使用がほとんどであるため、防水もしくは防滴処置を施した電気式ひずみゲージが使用されている。これらは廉価であるものの、防水機能の低下に伴い長期間での計測は不向きである。近年、施工後の状態変化を長期に渡りモニタリングしたいという要求から、電気を用いない光式センサの開発と利用^{5)~8)}が進んでいる。光式センサの大きな利点は、水に対する抵抗力が強い事、通電しないので可燃性ガス環境下で

切羽観察記録				
トンネル名	〇〇トンネル	位置	起点からの距離程 k m 坑口からの距離程 k m 支保No.	
土被り	△△m	総合判断	地山区分あるいはパターン区分の判定	
岩種	G	岩石名	砂岩及び頁岩	
特殊条件	膨張性土圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造物接近・谷の直下 その他特殊な条件:			
補助工法	長尺先受け(本)・短尺先受け(本)・鏡ボルト(本)・地盤改良			
地質構造	1. 互層 2. 不整合 3. 岩脈貫入 4. 褶曲 5. 断層 6. その他			
掘削地点の地山の状態と挙動				
A	切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	2
B	素掘面の状態	1. 自立	2. 時間がたつと緩み肌落ちする	2
C	圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100\text{MPa}$ ハンマー打撃で はね返る	2. $100 > \sigma_c \geq 20$ ハンマー打撃で はね返る	2
D	風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って 変色・強度やや 低下	3
E	破碎部の切羽に占める割合	1. $5\% >$ 破碎	2. $20\% >$ 破碎 $\geq 5\%$	3
F	割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3
G	割れ目状態	1. 密着	2. 部分的に開口	2
H	割れ目形態	1. ランダム方形	2. 柱状	3
I	湧水 目視での量	1. なし、滲水程度	2. 滴水程度	2
J	水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	2
合計 24				
割れ目の方向性	縦断方向 (切羽鏡面)	1. 水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. 垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 【最大傾斜角】		
	横断方向 (切羽鏡面)	1. 水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2. 右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. 右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. 垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 【見掛けの傾斜角】		
未固結地山の場合は、下記項目の追記を要す				
地山の状態	地層の状態	1. 単一土層 2. 互層 (1. 水平 2. 傾斜) 3. レンズのはきみ層 (1. なし 2. あり) 4. その他 ()		
	特殊な状態	1. 崖堆積物 2. 段丘堆積物 3. 火山砕屑岩 4. 泥流層 5. 岩盤との境界部 6. 断面外の上部に軟弱層あり 7. 埋土・盛土 8. その他 ()		
土質	1. 粘性土 2. 砂質 3. 礫質土 4. 特殊土 (1. まさ土 2. 火山灰土 3. しらす 4. 有機質土) 5. その他 ()			
状態適用	粘性土	1. 軟らかい ($4 > N$) 2. 中位 ($8 > N \geq 4$) 3. 硬い ($15 > N \geq 8$) 4. 非常に硬い ($30 > N \geq 15$) 5. 固結 ($N \geq 30$)		
	砂質土	1. 緩い ($10 > N$) 2. 中位 ($30 > N \geq 10$) 3. 密な ($50 > N \geq 30$) 4. 非常に密な ($N \geq 50$)		
特殊な土質	礫質土	礫径	1. 2~5cm 2. 5~20cm 3. 20~75cm 4. 75~300cm 5. 300cm以上	礫分の比 1. 30%以上 2. 30~50% 3. 50%以上
	土統	1. ルーズ 2. 締っている		
地山の特性	N値	透水性	1. 透水層 2. 不難透水性 3. 両者の互層 4. その他 ()	
地下水頭 (掘削時)	FLより±	m上	備考	
【切羽画像・スケッチ】				
【記事】				
記載者氏名				〇〇〇〇

Fig. 1 切羽観察記録の一例
An Example of a Tunnel Face Observation

も特別な防爆構造を施す必要がない事、さらに雷などの電磁障害を受けにくい事である。微小破壊音を捉えるために開発された光式AEセンサをFig. 2に示す。現在、波方国家石油ガス備蓄基地と日本原子力研究開発機構(JAEA)の幌延深地層研究センターで長期モニタリング岩盤計測に供されている。

2.3 内空変位計測の合理化と高精度化

内空変位計測は、日常の施工管理上極めて重要な項目である。空洞掘削後の応力再配分により建築限界を犯すか否か、収束時期はいつかを予測だけではなく、ゆるみ領域を予測⁴⁾することで、ロックボルトの打設長さや支保工規模の妥当性、さらには施工方法の妥当性まで判断できる。

従来、鋼製のコンバースメジャーにより計測が行われてきたが、近年では光波計測が主流になってきた。著者らは、作業時間のより短縮化を目的に、デジタルカメラを用いた画像変位計測法⁹⁾を開発した。例えば、2車線道路トンネル相当断面を撮影した複数枚のデジタル画像(600万画素)の差分から、約0.5mmの変位認識精度を実現した。

2.4 切羽前方の地質探査

山岳トンネルが他のインフラ構造物と大きく異なる点は、施工進行方向に岩盤が存在し、その内部構造の詳細が掘削するまでわからないことにある。探り削孔と称するボーリングで切羽前方数m~数十mの地質の硬軟や分布する岩質を判断する方法が利用されることはあるが、感覚的で定性的である。そこで著者らは、山岳トンネルに常駐するジャンボに搭載された削孔装置の機械データを元に、切羽前方地山の定量的な評価を行い、最適な支保工規模を評価するノンコア削孔切羽前方探査技術(トンネルナビ[®])^{10), 11)}を開発した。現在までに、17現場、探査延長は26kmに達している。掘削後の切羽観察(2.1参照)による定量評価を仮に正解値とすると、トンネルナビ予測による適合率は80%を越えており、他の同種の方法やTSPなどの弾性波探査法に比べて格段に予測性が向上していることがわかっている。トンネルナビの実施および地山評価イメージをFig. 3に示す。

2.5 3次元可視化

岩盤内には大小さまざまな規模のき裂や不連続面が、様々な方向に分布している。したがって、山岳トンネルを掘削する場合、空洞と不連続面との幾何学的関係によっては掘削作業中に岩塊が崩落したり、進行が進むにつれ空洞の安定性が損われることがある。従来、切羽観察の際に、観察者が不連続面に注視し空洞との幾何学的関係を頭の中で再構築し3次元的に整理することで、危険予知を行っていた。しかし、き裂や不連続面そのものが多く頭の中で再構築するには限界があり、かつ力学的な接触力を考慮することは皆無であったため岩塊崩落の正確

な予測には至っていなかった。

著者らは、連続する切羽画像を用いて空洞周辺の不連続面分布を描画するとともに、空洞内に崩落する可能性のある岩塊を予測し対策法を講じる解析システム¹²⁾を開発し、波方国家石油ガス備蓄基地建設時に適用し安全に工事を遂行した¹³⁾。解析によって判明した崩落可能性岩塊の結果をFig. 4に示す。この技術は、近年でいうところ

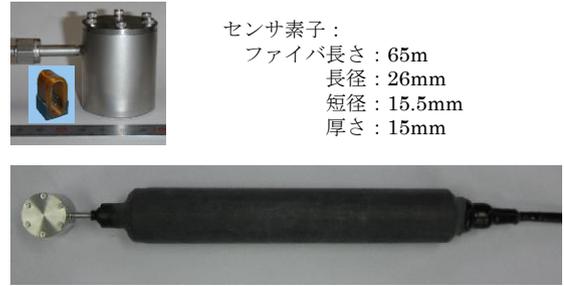


Fig. 2 光式AEセンサ
Optical AE Sensor

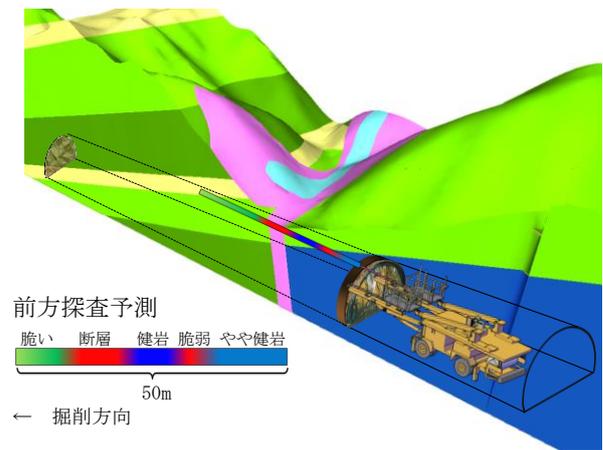


Fig. 3 トンネルナビ実施, 評価イメージ
Evaluation and Implementation by the Tunnel Navi

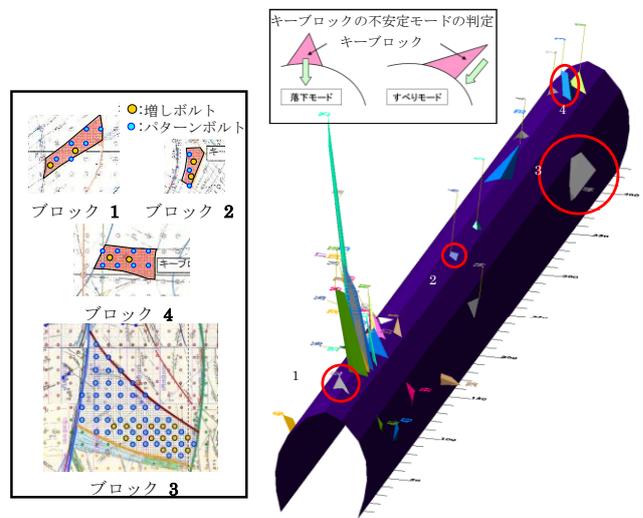


Fig. 4 岩塊崩落解析の一例
An Example of a Key Block Analysis

の3D-CADに力学的挙動を付加したもので、崩落岩塊の見える化を可能にした技術である。

2.6 VRMLの利用

通常、トンネルや大規模地下空洞は、掘削後は吹付けコンクリートや覆工コンクリートで岩盤面を覆ってしまうため、地質情報であるき裂や不連続面の分布や風化変質などの岩盤性状が不明となる。そのために、2.1で示した切羽観察は重要な情報源となる。しかし、この情報は2次元であるため、頭の中で3次元構造として再構築することが行われている。その一助となるのが3D-CADであるが、実体感に乏しいのが弱点である。

VRML (Virtual Reality Model Language) とは、Silicon Graphics社とソニーによって開発された3次元の仮想空間のデータを記述するための仮想現実モデル化言語である。すなわち、現実のようなバーチャルリアリティ感覚を味わえる3次元仮想世界を構築するためのグラフィックス言語である。この言語を用いると、構築した3次元仮想世界の中に入り込むことや任意位置への移動が可能で、そこで現実的と見紛うような体験をすることができる。デジタル画像をトンネルモデル内面に張り付けることで掘削直後の岩盤面を全線に渡り観察することができ、現実感を持って情報の確認が可能となる。大深度立坑工事での試行を通して、視認性向上効果の確認を行った。

以上示したICT技術は、CIMを構築するに当たっての核となる要素技術であり、施工時や維持管理段階における状況の見える化に大いに役立つ。

3. 山岳トンネルにおけるCIMの考え方と設計

CIMを効率良く運用するためには、対象構造物に適したプロダクトモデルを構築する必要がある。ここで言うプロダクトモデルとは、取り扱う材料や構造躯体にライフサイクル上で必要な多くの情報を統合的に盛り込んだものである。具体的には、建造物を構成する部品をオブジェクトとして扱い、それぞれに形状や材質等の属性情報を持たせ、それらを関連づけていくことによって製品のデータモデルを構築する事になる。

山岳トンネルにおけるプロダクトモデルは、本体部分のコンクリート、支保部材としての吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工などが該当する。ここまでであれば、高層ビルなどの建築物に比べて格段にモデル種類は少なく済む。しかし、2章で示したように、山岳トンネルが他の構造物と決定的に異なる項目として、構造物周辺が岩盤や地質が掘削するまで不明瞭な事である。具体的には、岩盤崩落を引き起こす断層破碎帯や突発湧水の有無、地下水の分布状況、岩盤強度に伴う変形性など、必要とする多くの情報が未明のまま掘削することが少なくない。したがって、構造物周辺の環境条件ともいえる情報を取り込む場合、当初設計から施工段階で逐次情報量が変わる事を如何に考慮するかがカギになる。

山岳トンネルのCIMにおけるモデル化項目をTable 1に示す。表中、(1)計画・設計時の項目は、事前に施主から提供もしくは入手可能な情報である。その内、②地質と⑤当初設計に関しては、弾性波探査などの結果から類推した情報であり、的確に岩盤や地山を表していないことが少なくない。(2)施工時の項目は、いずれも施工時に得られる実質情報であり、特に⑥～⑫の各情報は②地質と⑤当初設計を補完すると共に、必要に応じて(1)の項目を修正する貴重な情報源となる。一方、(3)維持管理時の項目は、山岳トンネルの最終出来上がり状態の確認に利用されるもので、供用に資する時の初期モデルに該当する。これらの多岐にわたる項目は、今までも個別に情報整理が行われてきたが、多くの場合連関して整理されてこなかった。そこで、CIMの構築に際しては、Table 1に示した項目を一元的に統合化し、必要に応じて2章で示したICT要素技術を利用し作業の効率化と省人力化に努める。

ところで、CIMもBIM同様国際化への対応を考えておく必要がある。現在、BIMはISOの専門委員会の中で活動をしているSTEP (STandard for the Exchange of Product data model) と、民間団体であるIAI (International Alliance for Interoperability) で精力的な活動がなされている。IAIが開発したプロダクトモデルであるIFC (Industry Foundation Class)¹⁴⁾は、世界標準になりそうな勢いであり、我国でも公式に認めている。一方、土木分野でも種々なプロダクトモデルが開発され試行が始まっているが、トンネル分野ではシールドトンネルの研究¹⁵⁾が有るだけである。したがって、山岳トンネルでのプロダクトモデルは無いに等しく、本件ではIFCにも即時対応が可能なプロダクトモデルの提案も念頭に置いている。

Table 1 山岳トンネルCIMの構成要素
Component of Mountain Tunnel CIM

モデル化項目		情報内容
(1) 計画・設計時		当初モデル
①	地形	
②	地質	
③	ボーリングデータ	
④	地下水・水文学情報	
⑤	当初設計	施工中および 施工後 修正モデル
(2) 施工時		
⑥	切羽観察	
⑦	切羽画像・スケッチ	
⑧	A計測	
⑨	B計測	
⑩	切羽前方探査・追加ボーリング	
⑪	き裂分布、崩落岩塊	
⑫	岩石・岩盤試験	
⑬	覆工コンクリート材質他	施工後 当初モデル
(3) 維持管理時		
⑭	覆工コンクリート形状	
⑮	覆工コンクリート表面	
⑯	地山と覆工コンクリート境界	

4. 山岳トンネルCIMプロトタイプの構築

前章で示した構成要素①～⑬を有機的に統合させるとともに、⑥～⑬は作業現場で随時追加可能に、⑭～⑯は竣工時には初期モデルを構築しておくことを基本形にしたシステムとする。また、現状の国内外におけるCIM開発状況や国交省の動きを勘案し、一般的に利用されているソフトを使用することで開発コストを下げるとともに、システム変更の容易性を念頭に使用するソフト群を選定した。まず、地形モデル、トンネル形状モデル作成にはAutoCAD Civil3D®を、地質構造モデル作成にはGEORAMA®を使用する。施工時に日々得られる切羽観察、各種計測結果および支保工情報は、CyberNATM®とExcelを基本に作成し、属性データの紐付けはNavis+®で行う。そして、全ての要素をNavisworksで統合し管理する。なお、NavisworksはIFCフォーマットに対応していることから、将来国際基準に格上げしようとする場合には、即時対応が可能である。各ソフト群の役割と統合化イメージをFig.5示す。

CIMにおいて極めて重要な事項に、各種データの連関と紐付けがある。現場での各種情報整理にはExcelが使用されていることから、Fig.5に示すモデル間の結合にはExcelデータをそのまま利用するシステムとする。この工夫により、現場でのCIM適用が身近なものになるとともに、通常的なデータ整理がそのままCIMに活用できるといふメリットが生まれる。

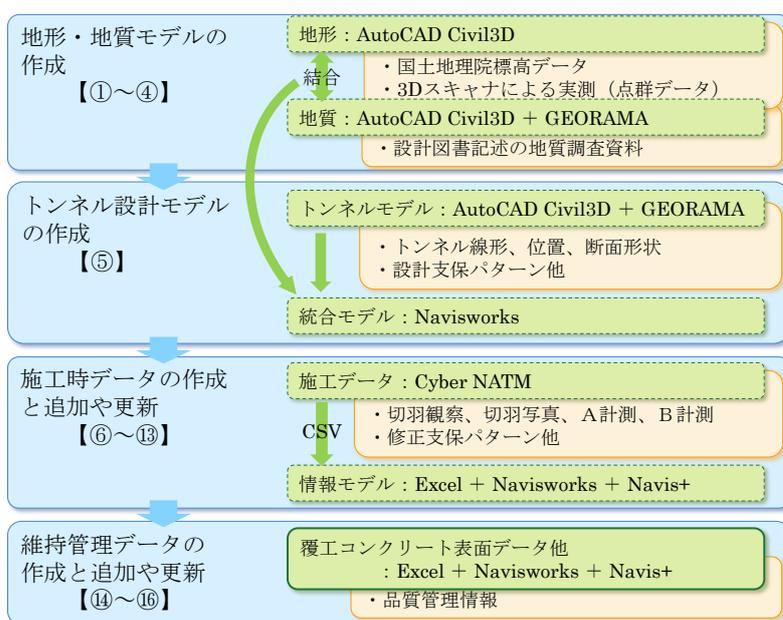


Fig. 5 使用ソフトと統合化の流れ
Flow of Integration and Utilized Software

施工時の坑口からの距離、施工サイクル、設計支保パターン、実施支保パターンなどの情報を紐付きする場合のデータ構成例をTable 2に示す。Auto-CADでオブジェクトを作成すると（この場合、ロックボルト、鋼製支保工、吹付けコンクリートなど）自動的にオブジェクトハンドルの称する紐付けのための基本番号が生成される。この表に、各種のデータを入力することでオブジェクトハンドルの媒介にした各情報の連関・紐付けがなされる。これら以外に、支保工情報として施工間隔、寸法、吹付けコンクリート厚、覆工コンクリート厚などの情報も別途

Table 2 Excelによる各種データの紐付き例
Leash examples of various types of data by Excel

オブジェクトハンドル	観察年月日	測点	坑口からの距離 TD(m)	サイクル No	設計支保パターン	実施支保パターン	切羽評価点	切羽画像	土被り (m)	湧水量 (L/min)
'D5'	#####	457+34.0	7	7	D III a	D III a	2.6	.¥01切羽写真¥P1c00	2	250
'CF'	#####	457+33.0	8	8	D III a	D III a	2.6	.¥01切羽写真¥P1c00	3.8	250
'C9'	#####	457+32.0	9	9	D III a	D III a	2.5	.¥01切羽写真¥P1c00	4.6	250
'C3'	#####	457+31.0	10	10	D III a	D III a	2.5	.¥01切羽写真¥P1c00	5.5	250
'7A'	#####	457+15.0	26	26	D I -b	D III a	2.2	.¥01切羽写真¥P1c00	20.9	250
'19B'	#####	457+14.0	27	27	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c00	21.8	250
'195'	#####	457+11.0	30	30	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c00	24.6	250
'18F'	#####	457+ 9.0	32	32	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c00	26.5	250
'7A'	#####	455+80.0	161	161	C II -b -i	D I -b	2.1	.¥01切羽写真¥P1c01	61.2	0
'C9'	#####	455+77.6	163.4	163	C II -b -i	C II -b -i	2.1	.¥01切羽写真¥P1c01	61.2	0
'C3'	#####	455+75.2	165.8	165	C II -b -i	C II -b -i	2.4	.¥01切羽写真¥P1c01	61.0	20
'BD'	#####	455+72.8	168.2	167	C II -b -i	C II -b -i	2.4	.¥01切羽写真¥P1c01	60.8	20
'E7'	#####	449+59.3	781.7	677	C I -i	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c06	50.2	1
'E1'	#####	449+57.3	783.7	679	C I -i	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c06	48.7	1
'DB'	#####	449+53.3	787.7	683	C I -i	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c06	45.9	1
'19B'	#####	448+87.5	853.5	748	C II -b -i	C II -b -i	2.0	.¥01切羽写真¥P1c07	30.2	0
'195'	#####	448+82.7	858.3	752	C II -b -i	C II -b -i	1.9	.¥01切羽写真¥P1c07	33.2	0
'18F'	#####	448+77.9	863.1	756	C II -b -i	C II -b -i	1.9	.¥01切羽写真¥P1c07	37.3	0
'E1'	#####	442+70.3	1470.7	1268	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c12	50.2	0
'DB'	#####	442+66.3	1474.7	1272	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c12	47.6	1
'D5'	#####	442+62.3	1478.7	1276	D I -b	D I -b	2.2	.¥01切羽写真¥P1c12	45.3	0

Excelで整理され、同様にオブジェクトハンドルで紐付けされ、一度紐付けされると、CIM上では入力データ項目によって関連付けた情報が検索でき、情報の一元管理が可能となる。

上記のシステム構成案を元に、開発したプロトタイプシステムがFig.6である。現状では試行中のため、Table 1に示す構成要素の①, ②, ⑤～⑧をシステムに取り込んでいる。図中、下段の地形図は、国土地理院の測地データを用いた地表面形状と、当初設計における縦断および横断の地質深度分布図を結合させており、トンネルを建設する場所の地形や地質分布を理解する上で役立つ。上左図はトンネルデータ、計測・品質データ、現況地形データを統合化した全体像であり、切羽画像を核として掘削方向の経時変化がリアルタイムで確認できる特徴を有す。一方、右図は計測データおよび支保工の属性データである。連携表示することで変位の推移情報が得られ、それに伴い修正支保工規模が当初設計と共に表示され、設計変更内容がほぼリアルタイムでわかる仕掛けになっている。

今後、実トンネルで試行を繰り返しながら、CIMのメリットである、(1) 設計内容の可視化、(2) 構造物情報の入力・整合性確認性の向上、(3) 構造物情報の統合・一元化などを検証する。

5. おわりに

山岳トンネルや地下空洞構築では、目で見ることが出来ない地山を手探り状態で掘削していると言っても過言ではない。当初の計画、設計段階で行われる調査は十分ではないことから、施工中の観察や計測によって、支保工は必要に応じて修正設計される事になる。したがって、山岳トンネルにおけるCIMは、発注者、施工者および協力会社の3者間で相互理解のための「会話システム」と言い換えることができる。施工後の維持管理段階においては、覆工コンクリートの変形性や表面損傷を検査対象にすることになるが、その原因究明においては、施工段階の地山情報が必要不可欠になる。建築のBIMに比べれば格段に部品属性は少ないが、条件が不確かな地山情報を如何に取り込み、相互関連させるかが鍵になるものと考ええる。

CIMを構築するに当たり、計画・設計～施工～維持管理の全領域で必要となるモデル化項目を明らかにした。その上で、現場での使い勝手をできるだけ容易にするため、専用の特殊ソフトではなく、汎用性の高いAutoCADやExcelを中心に据えた山岳トンネルCIMのプロトタイプを構築した。今後は、実トンネルでの試行を重ねながら、設計・施工から維持管理の全域で活用されるトンネ

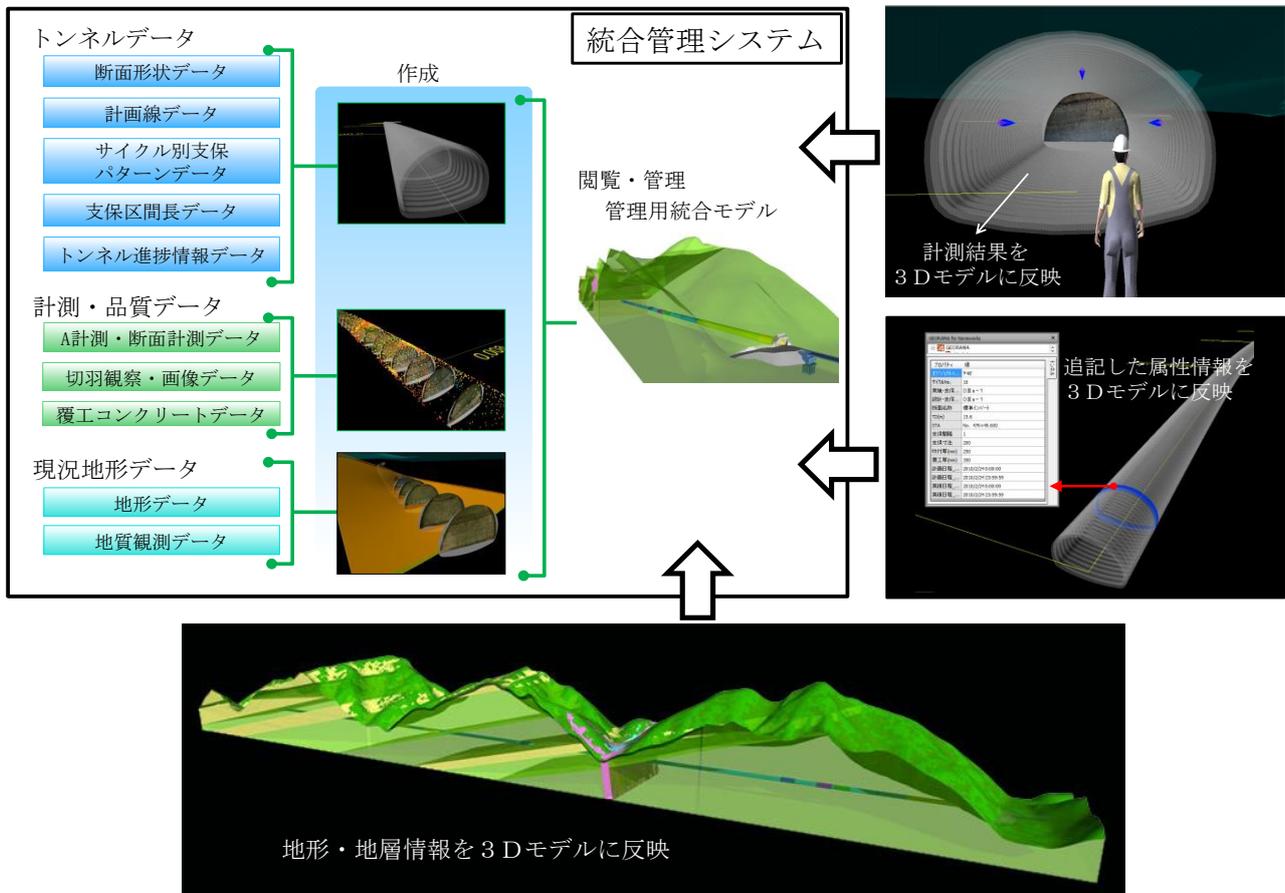


Fig. 6 山岳トンネルCIMのプロトタイプ
The Mountain Tunnel CIM (Draft Edition)

ルCIMの開発を推進する。さらに、近年タブレット端末の有効利用が注目を集めていることから、CIMと連携させ現地で各種情報をリアルタイムに見ながら発注者との協議に使ったり、安全に施工するためのツールとして活用を進めたい。

参考文献

- 1) BIM活用実態調査レポート 2011年版(2010年調査結果), 日経BPコンサルティング, 2011.2
- 2) 服部洋佑: ICT利活用による社会資本整備・管理の効率化, 生産性の向上, 建設マネジメント技術, 8月号, pp.7-11, 2007.8
- 3) 石川雄一: CIMの導入に向けて, 建設マネジメント技術, 8月号, pp.30-37, 2012.8
- 4) 畑 浩二, 吉岡尚也: トンネル支保工選定支援システムの開発, トンネルと地下, 第27巻, 1号, pp.65-71, 1996.1
- 5) 畑 浩二, 宮崎裕光, 田仲正弘, 藤井宏和, 斉藤義弘, 布谷勝彦: 光ファイバーを利用した原位置AEセンサの開発, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.109-114, 2011.1
- 6) 畑 浩二, 二島 建, 大久保秀一: 光式AEセンサによる波方国家石油ガス備蓄基地での岩盤健全性評価, 第68回土木学会年次学術講演会講演概要集 第VI部門, pp.381-382, 2013.9
- 7) 畑 浩二, 藤井宏和: マルチ光計測プローブの開発, 第69回土木学会年次学術講演会講演概要集 CS9, pp.69-70, 2014.9
- 8) 鶴山雅夫, 畑 浩二, 真田祐幸, 佐藤稔紀: ファブリペロー方式による光ファイバ式岩盤変位計の開発, 第69回土木学会年次学術講演会講演概要集 CS9, pp.71-72, 2014.9
- 9) 畑 浩二, 橋本周司, 中村真吾: CCDカメラを用いたトンネル内空変位計測法の開発, 第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, J01, 2002
- 10) 稲川雄宣, 畑 浩二, 桑原 徹, 中岡健一: ノンコア削孔による切羽前方予測技術の基礎的研究 - 大型花崗岩供試体を利用した削孔実験 -, 第16回トンネル工学研究発表会 トンネル工学報告集, 第16巻, pp.107-112, 2006.11
- 11) 桑原 徹, 畑 浩二, 赤澤正彦: ノンコア削孔調査による山岳トンネル切羽前方探査精度の検討, 第23回トンネル工学研究発表会 トンネル工学論文集, 第23巻, pp.1-9, 2013.11
- 12) 畑 浩二, 中尾通夫, 北岸秀一: 岩盤内不連続面可視化システムの開発, 第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.199-204, 1998.1
- 13) 中岡健一, 畑 浩二, 市川雅之, 小笠原光雅, 前島俊雄, 山本浩志: 波方LPG岩盤貯槽におけるキーブロック安定性評価, 第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.404-409, 2010.1
- 14) 高本孝頼: IFC2x仕様のISO/PAS報告, International Alliance for Interoperability, Japan Chapter News Letter, Vol.8, pp.1-12, 2002.10
- 15) 矢吹信喜: セマンティックWebを用いたシールドトンネルのデータモデルに関する研究, JACIC 研究助成報告書, 第 2006-02 号, 2007.9